

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE 4 HÍBRIDOS DE SORGO DULCE
Sorghum bicolor M. PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y AZUCARES
FERMENTABLES CONFINES EN LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES,
EN LA ALTILLANURA, EN EL MUNICIPIO DE PUERTO LÓPEZ, META.**

ESTUDIANTE

JUAN CAMILO CARDONA FUENTES

**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERIA EN CIENCIAS AGRICOLAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONOMICA
VILLAVICENCIO
2018**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE 4 HÍBRIDOS DE SORGO DULCE
Sorghum bicolor M. PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y AZUCARES
FERMENTABLES CONFINES EN LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES,
EN LA ALTILLANURA, EN EL MUNICIPIO DE PUERTO LÓPEZ, META.**

ESTUDIANTE

JUAN CAMILO CARDONA FUENTES

**Tesis de grado presentada como requisito para optar al título de Ingeniero
Agrónomo**

**DIRECTOR
FIDELA PARDO CARRASCO
IA ESPECIALISTA**

**CODIRECTOR
CARLOS ARMANDO MEDINA
IA ESPECIALISTA**

**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERIA EN CIENCIAS AGRICOLAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONOMICA
VILLAVICENCIO
2018**

NOTA DE ACEPTACION

I.A. Esp. Fidela Pardo Carrasco
Director

I.A. Esp. Carlos Armando Medina Polo
Codirector

I.A. Álvaro Álvarez Socha
Jurado

I.A Edgar Alejo Martínez
Jurado

DEDICATORIA

Este triunfo se lo dedico a mi familia, mi madre Rosario Fuentes, mi padre Ricardo Cardona y mi hermano Ricardo, tres personas que son mi motor para poder lograr cada meta que me propongo en esta carrera, sabiendo que desde sus posibilidades y su amor me pudieron brindar esta oportunidad de poder ser un profesional.

Desde el fondo de mi corazón debo dedicar este logro a mis abuelos mis 3 angelitos que me cuidan desde lo más alto.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco igualmente a aquellas personas que me brindaron su apoyo en cada uno de los escalones de este proceso.

Agradezco a mis tutores e ingenieros que durante mi practica me brindaron el acompañamiento necesario para desarrollar este estudio, principalmente a mi coequipero y actual socio empresarial el Ing. Robinse Acevedo que junto con el Ing. Fernando Fernández, Ing. German Orlando, me brindaron sus conocimientos para llevar este proyecto.

Agradezco al Ing. Carlos Medina, quien fue mi jefe de práctica y puso en mí la confianza para el desarrollo de este proyecto dentro los esquemas de investigación de la empresa que me brindó la oportunidad de realizar mi práctica, Bionergy S.A.

Agradezco a mi directora Ing. Fidela Pardo que desde semestres anteriores me brindo su amistad y total apoyo en los diferentes proyectos de aula y posteriormente en mi proyecto de grado.

Agradezco a mis jurados el Ing. Álvaro y el Ing. Edgar que me brindaron su apoyo y acompañamiento en este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
1. INTRODUCCION	12
2. OBJETIVOS	13
2.1. OBJETIVO GENERAL	13
2.2. OBJETIVO ESPECIFICO	13
3. JUSTIFICACION	14
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
5. MARCO TEORICO.....	16
5.1. GENERALIDADES DEL CULTIVO	16
5.1.1. ORIGEN.....	16
5.1.2. USOS	16
5.1.3. TAXONOMIA Y MORFOLOGIA.....	17
5.2. ESTABLECIMIENTO Y MANEJO DEL CULTIVO.....	19
5.2.1. PREPARACIÓN DEL SUELO.....	19
5.2.2. SIEMBRA	19
5.2.3. CONTROL DE MALEZAS.....	20
5.2.4. CONTROL DE PLAGAS	20
5.2.5. FERTILIZACIÓN	20
5.2.6. COSECHA.....	21
5.3. SUELOS OXISOLES	21
5.4. INDUSTRIA SUCRO ALCOHOLERA.....	22
5.5. PRODUCCIÓN DE ETANOL	24
5.6. SORGO EN LA PRODUCCIÓN DE ETANOL¹	29
5.7. TIPOS DE BIOCOMBUSTIBLES.....	32
5.8. MATERIALES A EVALUAR	32
5.8.1. MALIBU: SORGO DULCE	32
5.8.2. PALO ALTO: SORGO BIOMASA.....	33

¹ Basado en Chuck, Pérez, Heredia y Serna 2011.

6. METODOLOGIA.....	34
6.1. Materiales.....	34
6.2. Ubicación del ensayo.....	35
6.3. Toma de muestras de suelo	36
6.4. Preparación del terreno	36
6.5. Calibración de la sembradora	38
6.6. Siembra	41
6.7. Aplicación herbicida sello	42
6.8. Unidad experimental	43
6.9. Condiciones climáticas	44
7. MANEJO DEL CULTIVO	
7.1. Germinación	45
7.2. Abonamiento de cobertura.....	46
7.3. Aplicación insecticida.....	47
7.4. Liberación de control biológico	48
7.5. Análisis Fitosanitario	48
7.5.1. Reconocimiento de las afectaciones	49
7.5.2. Analisis De Laboratorio.....	49
7.5.3. Resultados	50
7.5.4. Diagnostico	52
8. RESULTADOS Y DISCUSIONES	53
8.1. Desarrollo Fenológico	53
8.1.1. N5D61 PALO ALTO	53
8.1.2. N5k53 PALO ALTO	55
8.1.3. N43A1001 MALIBU.....	57
8.1.4. N32F2026 MALIBU	59
8.2. Seguimiento producción de Etanol y Fibra	61
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
9.1. Desarrollo fenológico	63
9.2. Producción estimada	64

10. BIBLIOGRAFIA.....	65
11. ANEXOS	68

Lista de tablas	pág.
Tabla 1. Semilla de híbridos de sorgo evaluados.....	35
Tabla 2. Prueba de calibración piñonera.....	40
Tabla 3. Resultado pesaje de semilla	40
Tabla 4. DISTRIBUCION DE SEMILLAS POR TOLVA	41
Tabla 5. Nutrientes aportados RAFOS.....	41
Tabla 6. Nutrientes aportados por ABOTEC	46
Tabla 7. Dosificación Insecticida	47
Tabla 8. Seguimiento variedad N5D61	53
Tabla 9. Seguimiento variedad N5K53.....	55
Tabla 10. Seguimiento variedad N43A1001	57
Tabla 11. Seguimiento variedad N32F2026	59
Tabla 12. Resultados laboratorio de calidad de caña (90 días de cultivo) ...	61
Tabla 13. Factor Estequiometrico	63
Tabla 14. Análisis producción de Etanol.....	64

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Plantas de producción de alcohol etílico en Colombia.....	23
Ilustración 2. Cosecha de caña mecanizada.	24
Ilustración 3. Destilería Ingenio Manuelita	27
Ilustración 4. Proceso de producción de etanol.	28
Ilustración 5. Ubicación del ensayo	36
Ilustración 6. Toma de muestras de suelo	37
Ilustración 7. Muestreo de suelo	37
Ilustración 8. Preparación de terreno	38
Ilustración 9 y 10. Incorporación de enmiendas	38
Ilustración 11. Proceso de calibración	39
Ilustración 12 y 13. Siembra	42
Ilustración 14 y 15. Aplicación Herbicida	42
Ilustración 16. Distribución de materiales en campo	43
Ilustración 17. Áreas sembradas por material	44
Ilustración 18. Medición de máxima germinación	45
Ilustración 19 y 20. Evidencia de germinación	45
Ilustración 21 y 22. Seguimiento de abonamiento	46
Ilustración 23. Evidencia presencia de <i>Spodoptera Frugiperda</i>	47
Ilustración 24. Liberación de <i>cotesia flavipes sp</i>	48
Ilustración 25. Evidencias de afectaciones en cultivo de Sorgo.....	49
Ilustración 26. Montaje de las improntas	50
Ilustración 27 . Cuerpos fructíferos de <i>Alternaria sp.</i>	50
Ilustración 28. Cuerpos fructíferos de <i>Helminthosporium spp.</i>	51
Ilustración 29. Cuerpos fructíferos de <i>Nigrospora spp.</i>	51
Ilustración 30. Cuerpos fructíferos de <i>Fusarium spp.</i>	52
Ilustración 31. Cuerpos fructíferos de <i>Curvularia spp.</i>	52
Ilustración 32. Seguimiento altura h (cm) variedad N5D61.....	53
Ilustración 33. Seguimiento N° de hojas variedad N5D61.....	54
Ilustración 34. Variedad N5D61	54
Ilustración 35. Seguimiento altura h (cm) variedad N5K53.....	55
Ilustración 36. Seguimiento N° de hojas variedad N5K53.....	56
Ilustración 37. Variedad N5K53	56
Ilustración 38. Seguimiento altura h (cm) variedad N43A1001.....	57
Ilustración 39. Seguimiento N° de hojas variedad N43A1001.....	58
Ilustración 40. Variedad N43A1001	58
Ilustración 41. Seguimiento altura h (cm) variedad N32F2026	59
Ilustración 42. Seguimiento N° de hojas variedad N32F2026	60
Ilustración 43. Variedad N32F2026.....	60
Ilustración 44. Seguimiento % de fibra.	61
Ilustración 45. Seguimiento % de ATR en jugo extraído (m/m)	62
Ilustración 46. Material previo a entrar al laboratorio	62

Resumen

En la búsqueda de alternativas complementarias en la producción de etanol y cogeneración para las temporadas de intersafras, se decidió realizar un ensayo de 4 materiales Híbridos de Sorgo de la empresa estadounidense **Nexsteppe**. El estudio del sorgo como fuente de etanol involucra tecnologías de primera y segunda generación, por tal motivo se puede hacer aprovechamiento de las instalaciones de la planta extractora de etanol; todas las variedades de sorgo pueden ser usadas, pero el desafío más importante se encuentra en aprovechar al máximo cada una de las partes de la planta, para ello se plantea evaluar tanto capacidad de producción de etanol como capacidad de producción en fibra.

El ensayo se estableció en la finca La Consulta de propiedad de Bioenergy S.A.S. Ubicada en el kilómetro 43 de la vía Puerto López – Puerto Gaitán; las coordenadas del lote son N 4° 14' 59,6'' W 72° 40' 20,6''.

De acuerdo a los resultados obtenidos el material con mejor producción de biomasa fue el N5K53 con 82,9 Ton/Ha, mientras que para producción de etanol el material que mejor comportamiento tuvo fue el N32F2026 con 3902 litros de alcohol por hectárea. Estos resultados fueron tomados a los 86 días de siembra con una humedad de la biomasa promedio de 75%; resaltando que la humedad ideal para cosechar debe ser alrededor de 60-65%.

Abstract

In the search for complementary alternatives in the production of ethanol and cogeneration for the seasons of intersafras, it was decided to carry out a test of 4 Hybrid materials of Sorghum of the American company Nexsteppe. The study of sorghum as a source of ethanol involves first and second generation technologies, for this reason you can make use of the facilities of the ethanol extraction plant; all varieties of sorghum can be used, but the most important challenge is to make the most of each part of the plant, for which purpose it is proposed to evaluate both ethanol production capacity and fiber production capacity.

The trial was established at the La Consulta property owned by Bioenergy S.A.S. Located at kilometer 43 of the Puerto López - Puerto Gaitán highway; the coordinates of the lot are N 4 ° 14'59,6"W 72 ° 40' 20,6".

According to the results obtained, the material with the best biomass production was N5K53 with 82.9 Ton / Ha, while for ethanol production the material with the best performance was N32F2026 with 3902 liters of alcohol per hectare. These results were taken at 86 days of planting with an average biomass humidity of 75%; highlighting that the ideal moisture for harvesting should be around 60-65%.

1. INTRODUCCIÓN

El sorgo es una planta que ha sido utilizada por el hombre desde antes de Cristo como fuente de alimento, gracias a que contiene un considerable valor proteico mayor inclusive al del maíz; con el tiempo se ha intensificado su siembra y su uso, llegando a ser una opción interesante en la producción de energías renovables.

Actualmente el hombre se encuentra en una búsqueda interesante por encontrar fuentes de energía que sean renovables para lograr sustituir las energías de fuente fósil. En Colombia seis ingenios azucareros ya se encuentran produciendo energía eléctrica y alcohol combustible a partir de la caña de azúcar, entre ellos Bioenergy S.A.S; empresa que se encuentra en la altillanura colombiana, esta es una zona agrícolamente interesante, pues la altillanura es la frontera agrícola de Colombia y el área con mayor potencial de hectáreas para desarrollo de proyectos agroindustriales y energéticos.

Es importante evaluar especies vegetales que se adapten al ecosistema de la zona y muestren gran potencial energético, con el fin de ampliar las opciones de cultivos que cumplan con la proyección que se le ha destinado a la zona desde el plan de Desarrollo Nacional y que generen valor a las empresas que como Bioenergy ya se han establecido en la zona y otras que pretenden iniciar a hacer inversiones de acuerdo a las producciones y rentabilidad que muestren las empresas que ya están establecidas allí.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento de 4 híbridos de sorgo dulce *sorghum bicolor m.* para la producción de biomasa y azúcares fermentables con fines en la producción de biocombustibles, en la planta de alcohol carburante el Alcaraván, en el municipio de puerto López, Meta.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar población y peso de tallos en cada material de sorgo evaluado para realizar las estimaciones de producción.
- Realizar análisis de azúcares en cada uno de los materiales de sorgo evaluado.
- Determinar el potencial de producción de litros de alcohol de acuerdo a los azúcares fermentables y las toneladas de biomasa generadas por cada material de sorgo dulce evaluado.

3. JUSTIFICACIÓN

El sorgo es una planta que ha sido utilizada por el hombre desde antes de Cristo como fuente de alimento, gracias a que contiene un considerable valor proteico mayor inclusive al del maíz; con el tiempo se ha intensificado su siembra y su uso, llegando a ser una opción interesante en la producción de energías renovables.

Actualmente el hombre se encuentra en una búsqueda interesante por encontrar fuentes de energía que sean renovables para lograr sustituir las energías de fuente fósil. En Colombia seis ingenios azucareros ya se encuentran produciendo energía eléctrica y alcohol combustible a partir de la caña de azúcar, entre ellos Bioenergy S.A.S; empresa que se encuentra en la altillanura colombiana, esta es una zona agrícolamente interesante, pues la altillanura es la frontera agrícola de Colombia y el área con mayor potencial de hectáreas para desarrollo de proyectos agroindustriales y energéticos.

Es importante evaluar especies vegetales que se adapten al ecosistema de la zona y muestren gran potencial energético, con el fin de ampliar las opciones de cultivos que cumplan con la proyección que se le ha destinado a la zona desde el plan de Desarrollo Nacional y que generen valor a las empresas que como Bioenergy ya se han establecido en la zona y otras que pretenden iniciar a hacer inversiones de acuerdo a las producciones y rentabilidad que muestren las empresas que ya están establecidas allí.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cultivo de caña de azúcar en Colombia tiene tradición en la zona geográfica del río Cauca, caracterizándose por producir azúcar, energía eléctrica y alcohol para biocombustible. En esta región, el área agrícola disponible ya está copada y la necesidad de ampliar las zonas de cultivo ha hecho que las empresas que cuentan con este modelo de negocio agro energético migre a otros lugares como los Llanos orientales.

La Altillanura colombiana es una zona de suelos frágiles, condiciones climáticas fuertes y de experiencia corta en la cultura de la caña de azúcar como cultivo; Bioenergy S.A.S. es una empresa pionera en producir energía eléctrica y biocombustible a partir de caña de azúcar en dicha región, por ser tan nuevo este modelo de negocio en la zona se hace necesario evaluar una especie vegetal que ayude a la rotación de cultivos cuando es necesario la renovación de socas de caña, rompa ciclo de plagas y tenga proyección en la producción de azúcares y biomasa para producción de biocombustible.

Para darle solución a la problemática que se está presentando, es necesario evaluar el sorgo como cultivo alternativo a la caña de azúcar mitigando los inconvenientes presentados y a su vez que muestre un potencial energético mínimo para ser una alternativa económicamente sostenible frente a los cañaverales.

5. MARCO TEORICO

5.1. GENERALIDADES DEL CULTIVO

5.1.1. ORIGEN

El sorgo es un cultivo de más de 5000 años de tradición en África, especialmente de Sudan y Etiopia; fue traído por esclavos negros al norte de América en los siglos XVII Y XVIII; a Colombia llegó en 1945 a Palmira, luego se distribuyó a la costa norte principalmente Valledupar y Codazzi y posteriormente se concentró su investigación en la zona del Tolima, en Nataima. A principios de la década de 1990, el sorgo llegó a ser el tercer grano más importante en Colombia después del arroz y el maíz con un área sembrada alrededor de 300.000 hectáreas.

De acuerdo a la FAO, 1997; el país con mayor área de siembra de sorgo en América Latina y el Caribe era Argentina con cerca de 698.000 hectáreas; en Asia sobresalía India con 12.552.000 hectáreas; en África Burkina Faso con 1.398.000 hectáreas y la Unión Europea en su conjunto tenía 124.000 hectáreas.

5.1.2. USOS

El sorgo no solo es utilizado como materia prima en la industria de los concentrados o de manera directa en la alimentación animal, también ha sido requerido en industrias alimenticias y energéticas para la preparación de harinas, almidones, agentes espesantes, ligantes para carnes, adhesivos, tortas, jarabe de glucosa y dextrosa, aceites, alcoholes industriales, bebidas alcohólicas e inclusive en productos de papel. En el área alimenticia cabe destacar que el sorgo tiene menos hidratos de carbono y aporte de grasas que el maíz, por el contrario, contiene altas

proteínas que ayudan al desarrollo muscular, vitaminas como la B y E, y minerales como el hierro, zinc, fosforo y calcio además de ser fuente de fibra.

Las ventajas que presenta como cultivo son: un periodo vegetativo corto, requiere menos agua que otros cultivos, se adapta fácilmente a suelos pobres, costos de producción bajos, al ser un cultivo de rotación facilita el control de malezas, plagas y enfermedades.

5.1.3. TAXONOMIA Y MORFOLOGIA

El sorgo es una planta perteneciente a la familia de las gramíneas, su clasificación taxonómica es la siguiente:

Reino: plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Subfamilia: panicoideae

Género: Sorghum

Nombre Cientifico: Sorghum bicolor M.

El sorgo tiene una morfología y habito de crecimiento similar al del maíz, presenta un sistema radicular abundante lo que permite tener una gran cantidad de reservas, especialmente para adaptarse a zonas áridas y épocas secas. Los tallos son

gruesos y están recubiertos por una cera llamada Pruina, puede alcanzar una altura entre 1 y 3 mts. Las hojas son alternas, lanceoladas, aserradas, tienen una longitud de 0,5 a 1 m y de 5 a 12 cm de anchas. Presenta una inflorescencia en panoja, la flor es hermafrodita y cada panícula puede contener de 400 a 8000 granos; el color del grano varía desde blanco a pardo rojizo, la semilla es esférica y oblonga, de 3mm de tamaño aproximadamente.

Este cultivo cuenta con la capacidad de rebrotar después de cortes o socas sucesivas, de acuerdo al manejo y fertilización empleado, de esta forma prolonga su vida productiva varios años; según Ruiz y Cruz, 2005; en el rebrote, el número de días a corte es una característica de importancia primordial cuando se trata de identificar variedades forrajeras.

Esta planta se desarrolla bien en condiciones de clima cálido, con lluvias moderadas y bien distribuidas; de acuerdo a Pérez, 2010; el rango ideal de temperaturas se debe encontrar por encima de 18°C para germinar y crecer adecuadamente y por debajo de 38°C para evitar abortos florales y mermas en la producción de grano. Se establece muy bien en suelos con pH entre 5,5 y 6,5, profundos, no tan pesados. La altura debe ser entre 0 y 1200 msnm, siendo ideal por debajo de 800 msnm; para un normal desarrollo del cultivo es necesario contar con 400 a 600 mm de agua por cosecha y asegurar una luminosidad de 8 horas luz/día.

5.2. ESTABLECIMIENTO Y MANEJO DEL CULTIVO

5.2.1. PREPARACIÓN DEL SUELO

El sorgo es un cultivo que responde bien a una muy buena preparación del suelo, además esta labor ayuda a realizar un mejor control de malezas y plagas. Dependiendo de las condiciones físicas del suelo, la preparación requiere de: 1- Aplicación de enmienda, la fuente y dosis dependerá del análisis de suelo previo y los productos disponibles en la zona, la enmienda se debe aplicar con por lo menos un mes de anterioridad a las siguientes labores. 2- Una o dos pases de rastra arado, esta debe realizarse con discos que permitan una profundidad de 25 a 30 cm. 3- Dos pases de rastrillo cruzado. 4- Pase de pulidor. 5- Pase de niveladora. Estos últimos pases permitirán una pronta y homogénea germinación de la semilla, además de evitar problemas de encharcamiento.

5.2.2. SIEMBRA

La siembra del sorgo se puede realizar en 2 sistemas: al voleo y en surcos. Este último es el más conveniente pues el consumo de semilla es menor, hay mayor control en la profundidad de siembra, permitiendo una germinación uniforme, distribución adecuada de semillas en el lote.

La siembra al surco se realiza con sembradoras de monograno que cuenten con los piñones y platos adecuados. De acuerdo al grosor de la semilla y el tamaño del grano de abono, es importante realizar una calibración del equipo, así lograr una distribución de semilla idónea.

5.2.3. CONTROL DE MALEZAS

Se debe realizar un control de malezas oportuno, para evitar disminución en los rendimientos de producción, reducir la competencia por agua, luz, nutrientes con otras plantas y que a futuro no haya interferencia en la cosecha. Para esto, se debe asegurar una buena preparación de suelo, uso de semillas certificadas, realizar un aporque a los 15 días de sembrado y aplicar un herbicida pre-emergente.

5.2.4. CONTROL DE PLAGAS

Las plagas del cultivo del sorgo varían del sitio geográfico en el que se encuentre el lote y el estado fisiológico de la planta; es por eso que se recomienda que el control de plagas debe ser integrado: Biológico, Cultural y Químico. De acuerdo a Parra, 1990; “las plagas de mayor incidencia en el país son los trozadores o tierreros, los cucarrones de las raíces, los barrenadores del tallo, la mosca del ovario y la polilla de las panojas”.

5.2.5. FERTILIZACIÓN

Lo más recomendable en todo cultivo es realizar un análisis de suelo para determinar la carencia o exceso de algún elemento nutricional que pueda restringir los rendimientos productivos en la cosecha. Los híbridos en el sorgo son más exigentes y requieren una buena fertilización para expresar su potencial genético. De acuerdo a estudios realizados, para producir 5 toneladas de sorgo, las plantas extraen 160 kilogramos de nitrógeno, 75 kilogramos de fosforo y 135 kilogramos de potasio por hectárea.

5.2.6. COSECHA

Si es para granos, la recolección de la cosecha se realiza con una combinada, una mala recolección puede representar hasta un 30% de pérdidas en el rendimiento. Los granos deben tener una humedad entre el 15 y 17%, presentar una consistencia harinosa.

Si la cosecha es para forrajes o producción de alcohol, se realiza antes de que la planta emita la panícula, esto con el fin de conservar la mayoría de azúcares en el tallo, se puede realizar con una maquina forrajera o una cosechadora de caña.

5.3. SUELOS OXISOLES

Según Hoyos, Amézquita y Molina 2004, los suelos oxisoles representan el 57% del territorio colombiano, de los cuales 3,4 millones de hectáreas corresponden a la Altillanura plana, la vegetación nativa comprende en su mayor parte, gramíneas de bajo valor nutricional; la temperatura media es de 28°C, presentando precipitaciones anuales de 2200 mm y una evapotranspiración potencial de 1300 mm, la altitud de esta región es de 150 a 200 msnm.

Esta investigación se realizó dentro de la región de la altillanura Colombiana, según Acevedo 2015, esta es una zona comprendida en una franja de 60 Km de ancho al sur del río Meta desde el municipio de Puerto López en el departamento del Meta hasta el municipio de Puerto Carreño en el departamento del Vichada frontera con Venezuela; de acuerdo a estudios realizados por el CIAT se conoce que son suelos oxisoles (Tropeptic Haplustox isohypertermic) con pH 4.5-5.5, baja disponibilidad de nutrientes y una saturación de aluminio en promedio mayor al 70%; estos suelos requieren un manejo adecuado ya que son muy superficiales, susceptibles a la

erosión, de estructura débil, materia orgánica escasa, propensos a un sellamiento superficial es decir su capa externa se encostra y sella el interior, tiene baja capacidad de infiltración, son duros no se dejan penetrar fácilmente por las raíces y retienen poca agua disponible para la planta. Estos suelos han sido utilizados tradicionalmente en pastos mejorados para la ganadería y algunos cultivos semestrales como arroz, soya y maíz; a partir del 2005 como parte del desarrollo agroindustrial se han establecido cultivos de caucho, palma de aceite, caña de azúcar y algunos maderables como Pino, Teca, Eucalipto y Acacia.

5.4. INDUSTRIA SUCRO ALCOHOLERA

De acuerdo a Acevedo, 2015; la búsqueda permanente por generar o encontrar fuentes alternas de energía, que reduzcan la dependencia de aquellas fuentes finitas de las cuales el mundo en general ha estado vinculado por años (Petróleo, Carbón, gas, etc.) ha permitido el desarrollo de sectores como la agroindustria de la caña de azúcar y el maíz, y a menor escala sorgo y remolacha.

En Colombia este sector se encuentra centralizado básicamente en el valle geográfico del río Cauca que comprende el norte del departamento del Cauca, Valle del Cauca y el sur del departamento de Risaralda con un área según Cobos Y. y Ortiz H. (2007), de más de 200.000 hectáreas sembradas en caña pertenecientes a más de 10 ingenios y 1.500 cultivadores; además cuenta con 5 destilerías que comenzaron a funcionar entre los años 2005-2006.

Actualmente en la zona de los llanos orientales, se dio arranque e inicio al proceso de estabilización de la planta de producción de alcohol más grande del país con una

meta de 20.000 hectáreas aproximadamente sembradas en caña y una producción de alcohol de 480.000 litros diarios a cargo de la empresa Bioenergy S.A.

Según los cálculos del gobierno nacional se requieren producir entre 150 a 300 mil litros de etanol por día para cubrir la demanda de una mezcla de 10% de alcohol anhidro con gasolina de por lo menos las 7 principales ciudades del país.

Ilustración 1. Plantas de producción de alcohol etílico en Colombia



Fuente: Comfecampo, 2008.

La producción de etanol no solo beneficia a los ingenios y cultivadores de caña al ser una oportunidad de negocio dado las necesidades presentes, también beneficia a la sociedad en general al disminuir los niveles de CO₂ por la combustión de la mezcla alcohol-gasolina. Además, como valor agregado de esta industria es la reducción de importaciones y creación de nuevas importaciones con valor agregado.

Ilustración 2. Cosecha de caña mecanizada.



Fuente: Bioenergy 2015.

5.5. PRODUCCIÓN DE ETANOL

La producción de etanol se basa en la destilación de un subproducto llamado vinaza, por lo tanto, es importante aclarar que este se puede obtener de materias primas como la uva, para el caso de España; de agave para el caso de México; de caña de azúcar en Brasil y Colombia; también de remolacha, yuca, maíz y sorgo entre otros, esto dependiendo de la disponibilidad del material de acuerdo a cada zona geográfica en la que se encuentre.

En Colombia la producción de alcohol, como ya se mencionó anteriormente se basa en los cultivos de caña, sometidos a unos procesos de transformación en los ingenios, dichos procesos son: 1- la preparación de la caña, en donde se lava la caña y se dirige por una banda conductora que alimenta las picadoras que convierten los tallos en astillas; 2- molienda, se extrae el jugo de la caña y el bagazo es secado para posteriormente alimentar la caldera o como materia prima para la elaboración de papel; 3- clarificación, el jugo es alcalinizado y bombeado a los calentadores para remover impurezas tanto solubles como insolubles, en algunos casos el jugo sufre el proceso de sulfitación en donde se mezcla SO_2 con el jugo en una torre en cascada a contracorriente, a esto se le conoce como azúcar morena; 4- evaporación, aquí se evapora el agua del jugo dando como resultado un jarabe con concentración aproximada de sólidos solubles del 60 al 65%; 5- clarificación secundaria, este jarabe es sometido a una segunda clarificación por flotación con ácido fosfórico, cal, agentes floculantes y aire para separar la espuma que contiene los sólidos que no son azúcares, el producto de esta etapa se conoce como azúcar crudo; 6- cristalización, se realiza en recipientes al vacío de un solo efecto, el material resultante es miel (líquido) y azúcar (cristales) se denomina masa cocida con una concentración de sólidos solubles aproximadamente de 92%; 7- centrifugación, en las centrifugas se separa los cristales de azúcar y la miel, los cristales retenidos en la malla de la centrifuga se disuelven en agua caliente y son enviados a la refinería y la miel es usada como materia prima para la producción de alcohol, 8- secado, el azúcar es llevado a las secadoras en donde entra en contacto con el aire caliente en contracorriente; 9- enfriamiento y empaque, el azúcar pasa por enfriadoras a contracorriente en donde se disminuye su temperatura y es llevado a las tolvas de empaque para ser despachado en diferentes presentaciones.

El jugo clarificado, melaza y miel provenientes en la mayoría de los casos de la fábrica de azúcar son la materia prima para producir alcohol (Figura A). De acuerdo con Zucarmex (2007), el proceso inicia con la etapa de fermentación en donde la materia prima se mezcla con agua para obtener una concentración de 24°Brix; se utilizan levaduras de la especie *Saccharomyces cerevisiae* para desdoblar la sacarosa; la fermentación de la mezcla no debe pasar los 35°C, una vez generado el gas en la tina de fermentación se estima que el mosto esta fermentado a una concentración de azúcares de 8°Brix.

La siguiente etapa es la destilación, en la cual se busca separar una mezcla de líquidos teniendo en cuenta sus diferentes puntos de ebullición; consta de 3 columnas que son la de agotamiento en la que se eleva la temperatura del mosto a 80-90°C, caen a través de los platos de agotamiento para separar el alcohol por evaporación, los vapores alcohólicos son llevados a los condensadores para ser transportados posteriormente a la torre depuradora, como resultado de la fermentación del mosto se producen las vinazas. En la columna depuradora se busca separar las impurezas de los vapores como éteres y alcoholes a menor punto de ebullición que el etanol. La columna rectificadora cuenta con una zona de agotamiento y otra de enriquecimiento, de allí se obtendrá un alcohol de pureza 96% V/V y agua, el producto de interés es llevado a un intercambiador para ser enviado a la deshidratación.

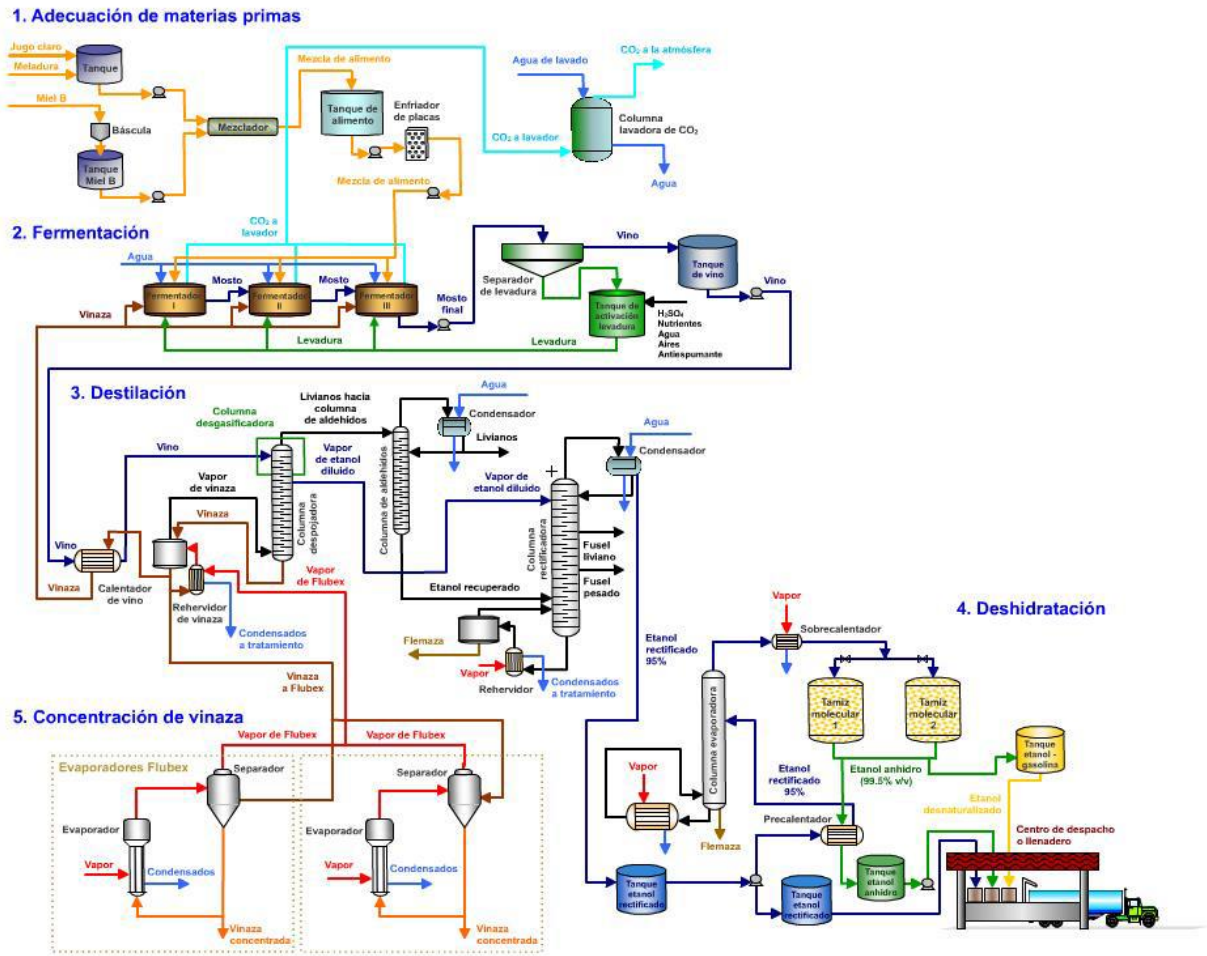
Ilustración 3. Destilería Ingenio Manuelita



Fuente: Manuelita 2014.

La última etapa del proceso es la deshidratación en la cual el alcohol es concentrado a 99,5% de etanol para ser utilizado como combustible, luego es llevado a una zona de almacenamiento para su posterior despacho. A este mismo proceso es sometido el sorgo para la producción de alcohol.

Ilustración 4. Proceso de producción de etanol.



Fuente Cenicaña 2012.

5.6. SORGO EN LA PRODUCCIÓN DE ETANOL²

El estudio del sorgo como fuente de etanol involucra tecnologías de primera y segunda generación. Todas las variedades de sorgo pueden ser usadas, pero el desafío más importante se encuentra en aprovechar al máximo cada una de las partes de la planta.

Según Chuck, 2011, para la obtención del jugo de sorgo dulce a partir de los tallos, generalmente se usan rodillos prensadores continuos de los que se obtienen dos fracciones: el jugo que pasa directamente a fermentación y el residuo o bagazo que debe pasar por tratamientos previos antes de poder ser inoculado con levadura para la producción de etanol.

Una vez extraído el jugo, este puede pasar por una etapa de pasteurización para reducir la carga microbiológica, principalmente bacterias del género *Lactobacillus* y *Leuconostoc*. Con jugos almacenados y pasteurizados correctamente se alcanzan de forma típica rendimientos de fermentación mayores al 85% con levaduras comunes (*Saccharomyces cerevisiae*).

A pesar de que el jugo es la forma más simple de obtener etanol, su uso supone una serie de retos, entre los que destacan: la rápida tasa de deterioro de los azúcares debido a su alta disponibilidad, así como la baja concentración de compuestos nitrogenados necesarios para el desarrollo de *S. cerevisiae*. El

² Basado en Chuck, Pérez, Heredia y Serna 2011.

desempeño del jugo de sorgo durante la fermentación puede además ser afectado por parámetros de proceso y la configuración de los reactores. Por ejemplo, Nuanpeng y *col.* 2011, observaron en un estudio de lotes repetidos que fermentaciones con alta concentración de azúcar (o de alta gravedad) pueden ser una buena alternativa de proceso sobre todo cuando: 1) la tasa de inoculación es adecuada; 2) los compuestos nitrogenados son suficientes para evitar fermentaciones lentas o trucas y 3) cuando la oxigenación durante las primeras etapas es adecuada.

De acuerdo a lo descrito por Almodares y Hadi 2009, así como Gnansounou y *col.* 2005, indican que se puede obtener un rendimiento en base húmeda de 158 litros de etanol por cada tonelada de bagazo ingresada al proceso, obteniendo además 110 kilogramos de lignina y no fermentables. Este resultado indica un rendimiento de fermentación del 75% contabilizando el total de azúcares presentes en la materia prima y con posibilidad de ser hidrolizados y posteriormente fermentados.

El rendimiento de etanol en las variedades de sorgo es relativamente diferente, sin embargo, el mejor desempeño se da obviamente cuando se usan cada una de las porciones obtenidas de la planta, sobre todo el material lignocelulítico, jugo e incluso el grano. En muchas ocasiones esta última fracción no se puede obtener de forma completa, debido a que la cosecha se hace antes de la madurez completa del grano.

En términos generales se puede decir que el rendimiento de etanol por cada tonelada de sorgo grano podría compararse (aunque no es igual) con la del maíz. El rendimiento por cada hectárea sería menor también por el menor rendimiento del

sorgo en campo comparado con otros cereales. El sorgo dulce en cambio, puede tener un rendimiento mucho más competitivo comparado con otros cereales o con otros cultivos como la caña de azúcar. De una hectárea de sorgo dulce se pueden obtener desde 42 hasta incluso 120 toneladas de tallos

Si se considera un promedio de 15°Brix, se producirían 6.4 toneladas de azúcares fermentables por hectárea, aunque Praj establece un rango de 3.6 hasta 6.2 toneladas. Este material serviría para obtener 4,132 litros de etanol considerando una fermentación perfecta. Kim y Day 2010, reportan una producción por hectárea de 3,296 litros, mientras que con una eficiencia de fermentación del 95%, Almodares y Hadi 2009, reportan 3,000 litros por cada hectárea cuando se procesa jugo extraído de variedades productoras de 39 hasta 128 toneladas de tallos por hectárea. Wu y col. 2010, a pesar de no reportar rendimientos de etanol por hectárea, expresan el rendimiento de azúcares fermentables, con las cuales (y considerando una eficiencia del 95%) se pueden obtener de entre 4,750 hasta 5,220 litros por hectárea. Esto equivale a la conversión de 12 a 13 toneladas de maíz, cuando la productividad media de este cereal en México y Estados Unidos es de 3.2 y 10.3 toneladas por hectárea, respectivamente.

La producción de biomasa de sorgo por hectárea es quizás el factor que más influye en el rendimiento de etanol, así como la energía requerida en el proceso. En los estudios de factibilidad económica es entonces importante considerar aspectos agrícolas (rendimiento, necesidad de fertilizante, agua y otros insumos), energéticos y tecnológicos.

5.7. TIPOS DE BIOCOMBUSTIBLES

Los biocombustibles se clasifican de acuerdo a la forma en cómo se generan; los de primera generación 1G, se producen directamente de cosechas que se pueden usar para la alimentación humana o animal, en este caso, encontramos la caña de azúcar, maíz, sorgo, soya, entre otros.

Los biocombustibles de segunda generación 2G, se origina de biomasa que no se destina a la alimentación y por lo general presenta altos niveles de lignina y celulosa, aquí podemos encontrar los residuos de cosecha (tallos, hojas y cascara) y la *Jatropha curcas*. Los biocombustibles de tercera generación 3G son aquellos obtenido a partir de algas y microalgas, también se le conoce como Oleoalgal, Oilgae y Algaeoleum, esta generación se caracteriza por desarrollarse en laboratorios o instalaciones de círculo cerrado; es de resaltar que en esta generación los rendimientos son mayores a partir de una menor cantidad de materia prima.

5.8. MATERIALES A EVALUAR

5.8.1. MALIBU: SORGO DULCE

Con el nombre de la ciudad donde se fundó la empresa, los híbridos de sorgo dulce Malibu de NexSteppe han sido optimizados para proporcionar una fuente fácilmente accesible de azúcares fermentables para la producción de biocombustibles avanzados y productos biológicos. Los sorgos dulces de Malibu se pueden utilizar como complemento de la caña de azúcar para proporcionar materia prima adicional para los molinos existentes de azúcar a etanol.

Nuestra primera generación de híbridos de sorgo dulce de Malibu está diseñada para proporcionar una amplia gama de vencimientos para satisfacer diferentes perfiles de ventanas de recolección de clientes. Varios de estos híbridos también fueron seleccionados por su desempeño de rendimiento en ambientes tropicales de día corto de longitud para ayudar a permitir la producción durante todo el año.

5.8.2. PALO ALTO: SORGO BIOMASA

De pie a 20 pies de altura después de sólo cuatro meses de crecimiento, los híbridos de sorgo de biomasa Palo Alto de NexSteppe proporcionan una materia prima de biomasa de alto rendimiento y bajo costo para biopoder, incluyendo biogás y biocombustibles celulósicos. Diseñados para tener bajos niveles de humedad en la madurez, los sorgos de biomasa Palo Alto disminuyen significativamente la cantidad de agua cosechada, reduciendo así los costos de cosecha y transporte que pueden ser el 50 por ciento o más del costo total de la materia prima suministrada. Los niveles de humedad más bajos también proporcionan una mayor densidad de energía efectiva para la combustión.

6. METODOLOGIA





6.1. Materiales

A través de la cooperación brindada por la empresa Nexs-teppe empresa brasilera , se logró evaluar 2 híbridos de la línea Palo Alto con fines para la producción de biomasa y 2 híbridos de la línea Malibú con fines para la producción de etanol, es de resaltar que estos materiales anteriormente no habían sido sembrados en Colombia.

La línea Malibu ha sido optimizada para proporcionar una fuente fácilmente accesible de azúcares fermentables para la producción de biocombustibles avanzados y productos biológicos. Los sorgos dulces de Malibu se pueden utilizar como complemento de la caña de azúcar para proporcionar materia prima adicional para los molinos existentes de azúcar a etanol. Para este caso se evaluaron los híbridos N43A1001 y N32F2026.

La línea Palo Alto proporciona una materia prima de biomasa de alto rendimiento y bajo costo para biopoder, incluyendo biogás y biocombustibles celulósicos. Diseñados para tener bajos niveles de humedad en la madurez, los sorgos de biomasa Palo Alto disminuyen significativamente la cantidad de agua cosechada, reduciendo así los costos de cosecha y transporte que pueden ser el 50 por ciento o más del costo total de la materia prima suministrada. Los niveles de humedad más bajos también proporcionan una mayor densidad de energía efectiva para la combustión.

Tabla 1. Semilla de híbridos de sorgo evaluados

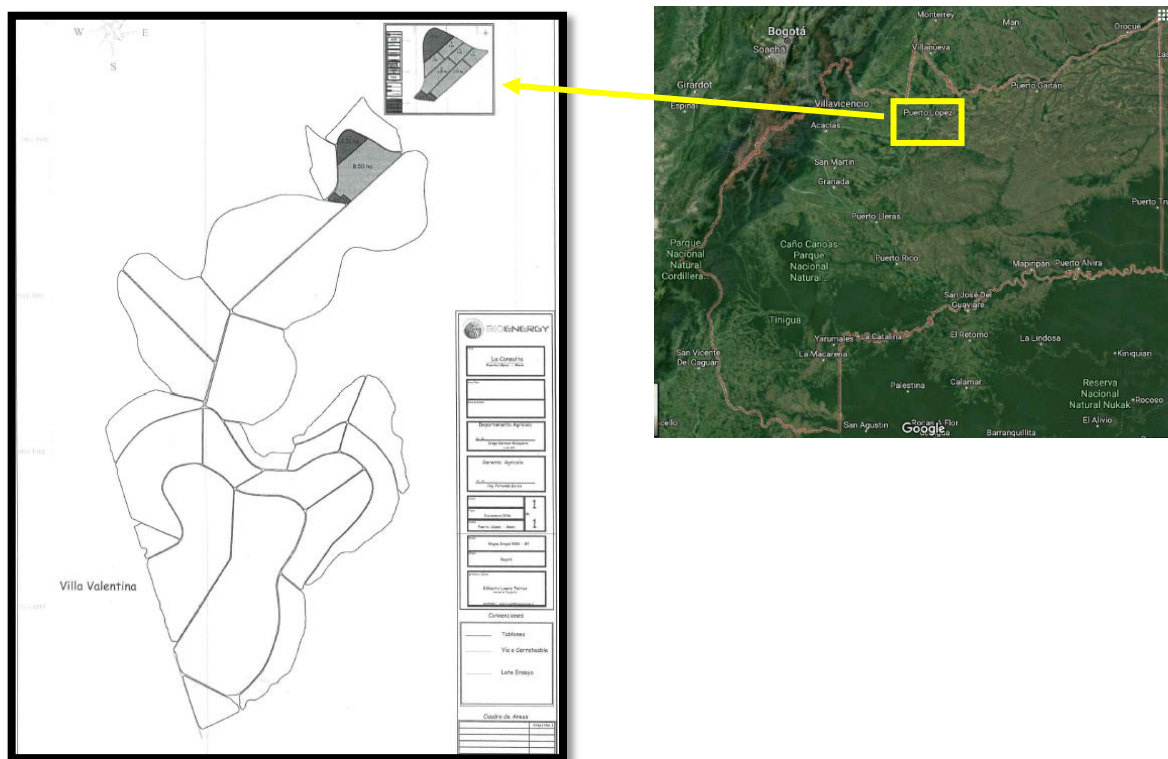
BIOMASA	ETANOL
N5D61- Palo Alto 	N43A1001 —  Malibu
N5K53 – Palo Alto 	N32F2026 – Malibu 

Fuente: el autor

6.2. Ubicación del ensayo

El ensayo se estableció en la finca La Consulta de propiedad de Bioenergy S.A.S., tablón 30 de la suerte 2, ubicado en el kilómetro 43 de la vía Puerto López – Puerto Gaitán; las coordenadas del lote son N 4° 14´ 59,6’’ W 72° 40´ 20,6’’.

Ilustración 5. Ubicación del ensayo



Fuente: Topografía Bionergy S.A.

6.3. Toma de muestras de suelo

Una vez seleccionado el lote, se procedió a tomar unas muestras de suelo para registrar los valores nutricionales y así realizar los cálculos pertinentes para la dosificación de enmiendas y fertilizantes.

Ilustración 6. Toma de muestras de suelo

Referencia	Profu n. (Cm)	PH H ₂ O (Un)	N-Total (mg/kg)	P (mg/kg)	K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Al (cmol/kg)	H+Al (cmol/kg)	SB	t (elect)	CTC	V (%)	m (%)	M.O (%)	S (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
BES2017-659 Muestra 0 Suerte 2 Tablon 2	0-20	5.81	1736	33.19	0.31	4.08	0.77	0.24	0.24	5.16	5.40	5.40	95.55	4.45	4.23	31.15	78.08	19.66	0.50	1.03
BES2017-660 Muestra 0 Suerte 2 Tablon 2	20-40	4.33	1064	1.21	0.09	0.55	0.19	2.52	2.80	0.83	3.63	3.35	24.88	75.12	2.77	20.37	39.54	2.27	0.52	0.15
BES2017-661 Muestra 1 Suerte 2 Tablon 2	0-20	4.66	1232	8.69	0.11	1.11	0.27	2.00	2.24	1.49	3.73	3.49	42.74	57.26	4.67	21.78	28.79	2.21	0.39	0.35
BES2017-662 Muestra 1 Suerte 2 Tablon 2	20-40	4.28	896	0.98	0.06	0.27	0.10	2.56	2.88	0.44	3.32	3.00	14.53	85.47	3.59	15.15	12.97	0.80	0.30	0.09
BES2017-663 Muestra 2 Suerte 2 Tablon 2	0-20	5.33	1512	92.49	0.20	5.19	0.99	0.12	0.12	6.38	6.50	6.50	98.16	1.84	3.92	56.44	105.37	50.28	0.34	1.14
BES2017-664 Muestra 2 Suerte 2 Tablon 2	20-40	4.61	1120	9.08	0.18	1.43	0.41	1.48	1.64	2.03	3.67	3.51	57.78	42.22	2.96	41.89	35.01	7.16	0.41	0.34
BES2017-665 Muestra 3 Suerte 2 Tablon 2	0-20	5.38	1344	26.61	0.18	3.67	0.64	0.28	0.28	4.48	4.76	4.76	94.12	5.88	3.73	33.65	56.10	11.57	0.36	0.63
BES2017-666 Muestra 3 Suerte 2 Tablon 2	20-40	4.41	1064	0.94	0.05	0.80	0.32	2.16	2.36	1.16	3.52	3.32	34.96	65.04	3.18	19.36	15.69	0.87	0.35	0.17
BES2017-667 Muestra 4 Suerte 2 Tablon 2	0-20	4.90	1456	21.73	0.33	2.36	0.46	1.00	1.12	3.16	4.28	4.16	75.96	24.04	4.31	37.84	45.73	10.86	0.41	1.00
BES2017-668 Muestra 4 Suerte 2 Tablon 2	20-40	4.31	840	1.06	0.09	0.24	0.09	2.60	2.84	0.42	3.26	3.02	13.94	86.06	2.55	24.10	16.04	0.90	0.29	0.15
BES2017-669 Muestra 5 Suerte 2 Tablon 2	0-20	5.45	1428	34.34	0.26	3.90	0.68	0.20	0.20	4.84	5.04	5.04	96.03	3.97	3.93	32.07	43.95	18.73	0.28	0.86
BES2017-670 Muestra 5 Suerte 2 Tablon 2	20-40	4.59	1064	2.54	0.14	0.71	0.23	1.84	2.00	1.08	3.08	2.92	37.01	62.99	2.87	21.67	27.54	1.96	0.26	0.20
BES2017-671 Muestra 6 Suerte 2 Tablon 2	0-20	5.49	1288	12.06	0.24	3.31	0.80	0.20	0.20	4.35	4.55	4.55	95.60	4.40	3.95	29.16	24.74	7.42	0.26	0.57
BES2017-672 Muestra 6 Suerte 2 Tablon 2	20-40	4.92	952	3.14	0.12	1.35	0.46	1.04	1.16	1.93	3.09	2.97	64.93	35.07	2.73	20.96	15.37	1.67	0.23	0.19
Promedio		4.92	1214	17.72	0.17	2.07	0.46	1.30	1.43	2.70	4.13	4.00	60.44	39.56	3.53	28.97	38.32	9.74	0.35	0.49

Fuente: autor

Ilustración 7. Muestreo de suelo



Fuente: autor

6.4. Preparación del terreno

El lote seleccionado estaba dentro del programa de renovación de cepa del cultivo de caña, por lo tanto, la caña tenía una altura menor de 30 cm,

se procedió a aplicar enmiendas al suelo. Se aplicó 6 toneladas de mezcla de cal y 3 toneladas de calfos.

Ilustración 8. Preparación de terreno



Fuente: el autor

Posteriormente, se realizó la incorporación de la enmienda con una rastra de 28 pulgadas y se finalizó con la demarcación del área experimental útil del lote.

Ilustración 9 y 10. Incorporación de enmiendas



Fuente: autor

6.5. Calibración de la sembradora

Se realizó la calibración de la sembradora Semeato PAR TRANS 5000 para Sorgo utilizando un disco ciego modificado con 20 orificios, la referencia óptima para la siembra de sorgo es de 8 semillas por metro lineal.

Para poder realizar el conteo de semilla se optó por asegurar una bolsa en el conducto de salida de las tolvas, realizando varias repeticiones hasta acercarse al valor que se necesitaba.

La prueba de calibración, se desarrolló en una distancia de 22,2 metros, en la cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Ilustración 11. Proceso de calibración



Fuente: el autor

Tabla 2. Prueba de calibración piñonera

RELACION PIÑONERIA	Nº DE SEMILLAS	SEMILLAS POR METRO LINEAL	OBSERVACIÓN
28- 16	206	9	Alto
28 - 14	177	8	Optimo
28- 14	178	8	Optimo
28 - 14	182	8	Optimo

Fuente: el autor

Debido a que no se contaba con la misma cantidad de semilla de cada uno de los híbridos a probar, se procedió a realizar un pesaje de 100 semillas de cada material, así poder determinar el área que área podríamos cubrir de cada uno basado en la densidad de 8 semillas por metro lineal.

Tabla 3. Resultado pesaje de semilla

VARIEDAD	PESO	AREA ESTIMADA
<i>N5D61- Palo Alto</i>	3.4 gr	3,15 ha
<i>N5K53 – Palo Alto</i>	3.23 gr	2,62 ha
<i>N43A1001 – Malibu</i>	2.7 gr	1,04 ha
<i>N32F2026 – Malibu</i>	3.3 gr	0,84 ha

Fuente: el autor

6.6. Siembra

El orden de siembra se realizó teniendo en cuenta el material con mayor cantidad de semilla disponible, siendo así, se inició con los materiales Palo alto y posterior los materiales Malibu.

Se realizó la distribución de semilla para las 11 tolvas de la sembradora, teniendo en cuenta la cantidad de semilla que se tiene por material.

Tabla 4. DISTRIBUCION DE SEMILLAS POR TOLVA

MATERIAL	KG	GRAMOS POR TOLVA	HECTAREAS APROXIMADAS
<i>N5D61- Palo Alto</i>	19 kg	1727 gr	3,15
<i>N5K53 – Palo Alto</i>	15 kg	1364 gr	2,62
<i>N43A1001 – Malibu</i>	5 kg	450 gr	1,04
<i>N32F2026 – Malibu</i>	5 kg	450 gr	0,84

Fuente: El autor

En el momento de la siembra con sembradora Semeato se suministraron 375 kg de RAFOS como abono de siembra el cual nos aportaba los siguientes valores en nutrientes:

Tabla 5. Nutrientes aportados RAFOS

N	P	K	NPK	CaO	MgO	S	Zn	B	CU	Fe	MEN
45	90	45	180	-	8	4	0,04	0,04	-	-	11

Fuente: El autor

Ilustración 12 y 13. Siembra



Fuente: el autor

6.7. Aplicación herbicida sello

Al día siguiente de la siembra, se realizó la aplicación del Herbicida Atrazina con el fin de generar un sello para las malezas, este se aplicó con la pulverizadora Patriot marca Case II. La dosis usada fue 3 Kg de atrazina por hectárea y 0,1 L de coadyuvante por hectárea.

Ilustración 14 y 15. Aplicación Herbicida



Fuente: el

autor

6.8. Unidad experimental

Una vez finalizada la siembra, se procedió a rectificar las áreas sembradas de cada material. El área total del tablón es de 11,38 Ha; sin embargo, la superficie útil experimentalmente es de 8,01 ha distribuida como se observa en los siguientes mapas:

Dentro de cada parcela se tomaron 3 estaciones de evaluación por cada hectárea sembrada de cada uno de los materiales, cada estación se evaluara el número de plantas presentes en una distancia de un metro lineal de siembra, estableciendo así la siguiente cantidad de estaciones por híbrido sembrado:

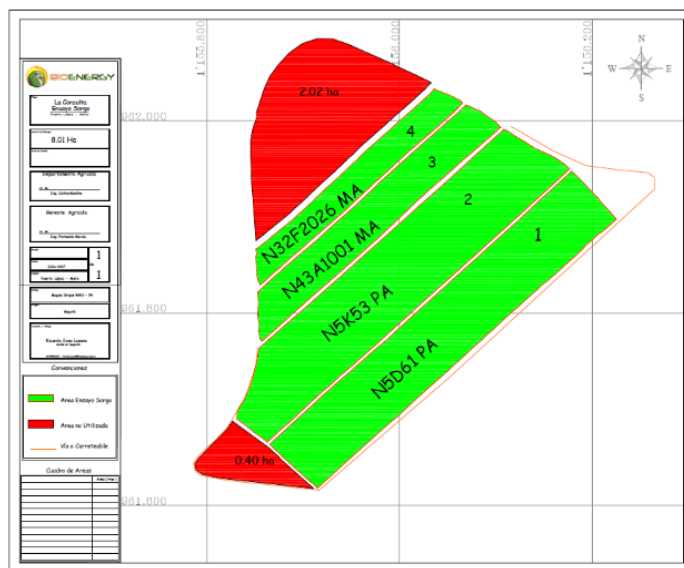
Material 1: 8 Estaciones (2,82 ha)

Material 2: 9 Estaciones (3,09 ha)

Material 3: 4 Estaciones (1,29 ha)

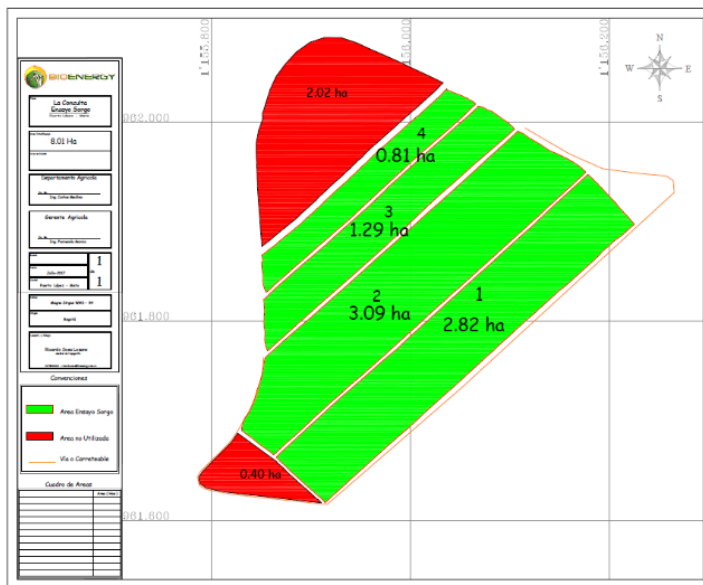
Material 4: 3 Estaciones (0,8)

Ilustración 16. Distribución de materiales en campo



Fuente: Topografía Bioenrgy S.A

Ilustración 17. Áreas sembradas por material



Fuente: Topografía Bioenergy S.A

6.9. Condiciones climáticas

Durante el periodo en el que se desarrolló el cultivo de sorgo, el cual duró 3 meses, se presentó un régimen de lluvias de 421,8 mm; la humedad relativa promedio fue de 86,6 % y la temperatura promedio de 26,2°C; sin embargo, cuando las plantas se encontraban entre 40-60 días de siembra se presentó una disminución significativa de lluvias y la temperatura subió alcanzando valores de 32-34°C, lo que causó estrés fisiológico en las plantas generando un embuchamiento prematuro para emitir la inflorescencia, lo que finalmente se vió reflejado en un recorte de días en el ciclo del cultivo. La información climatológica fue extraída de los datos que reporta la estación meteorológica con que cuenta Bioenergy en el sector, la cual se encuentra a 3,6 Km del tablón donde se realizó el ensayo.

7. MANEJO DEL CULTIVO

7.1. Germinación

Pasado 9 días después de la fecha de siembra, se realiza la medición de germinación de los diferentes híbridos. Para ello se tomaron 6 mediciones por material, donde se evalúa la germinación de plántulas en un metro lineal.

Ilustración 18. Medición de máxima germinación

- N5D61 PALO ALTO	- N5K53 PALO ALTO																																
<table> <tr> <th>REPETICION</th><th>Nº DE PLANTAS</th></tr> <tr><td>1</td><td>9</td></tr> <tr><td>2</td><td>12</td></tr> <tr><td>3</td><td>11</td></tr> <tr><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>5</td><td>9</td></tr> <tr><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>□</td><td>9</td></tr> </table>	REPETICION	Nº DE PLANTAS	1	9	2	12	3	11	4	5	5	9	6	7	□	9	<table> <tr> <th>REPETICION</th><th>Nº DE PLANTAS</th></tr> <tr><td>1</td><td>10</td></tr> <tr><td>2</td><td>15</td></tr> <tr><td>3</td><td>13</td></tr> <tr><td>4</td><td>8</td></tr> <tr><td>5</td><td>7</td></tr> <tr><td>6</td><td>9</td></tr> <tr><td>□</td><td>10</td></tr> </table>	REPETICION	Nº DE PLANTAS	1	10	2	15	3	13	4	8	5	7	6	9	□	10
REPETICION	Nº DE PLANTAS																																
1	9																																
2	12																																
3	11																																
4	5																																
5	9																																
6	7																																
□	9																																
REPETICION	Nº DE PLANTAS																																
1	10																																
2	15																																
3	13																																
4	8																																
5	7																																
6	9																																
□	10																																
- N43A1001 MALIBU	- N32F2026 MALIBU																																
<table> <tr> <th>REPETICION</th><th>Nº DE PLANTAS</th></tr> <tr><td>1</td><td>10</td></tr> <tr><td>2</td><td>11</td></tr> <tr><td>3</td><td>9</td></tr> <tr><td>4</td><td>6</td></tr> <tr><td>5</td><td>8</td></tr> <tr><td>6</td><td>8</td></tr> <tr><td>□</td><td>8</td></tr> </table>	REPETICION	Nº DE PLANTAS	1	10	2	11	3	9	4	6	5	8	6	8	□	8	<table> <tr> <th>REPETICION</th><th>Nº DE PLANTAS</th></tr> <tr><td>1</td><td>9</td></tr> <tr><td>2</td><td>17</td></tr> <tr><td>3</td><td>11</td></tr> <tr><td>4</td><td>8</td></tr> <tr><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>□</td><td>10</td></tr> </table>	REPETICION	Nº DE PLANTAS	1	9	2	17	3	11	4	8	5	6	6	7	□	10
REPETICION	Nº DE PLANTAS																																
1	10																																
2	11																																
3	9																																
4	6																																
5	8																																
6	8																																
□	8																																
REPETICION	Nº DE PLANTAS																																
1	9																																
2	17																																
3	11																																
4	8																																
5	6																																
6	7																																
□	10																																

Fuente: el autor

Ilustración 19 y 20. Evidencia de germinación



Fuente: el autor

La calibración de la sembradora quedó acorde a lo deseado, pues ninguno de los materiales tubo resultados en promedio menores a 8 plántulas por metro lineal, además, se constata que el porcentaje de germinación de la semilla fue superior al 90%.

7.2. Abonamiento de cobertura

30 dias después de la siembra se realiza el aporte de un segundo abonamiento, en este momento aportamos 400 kg por hectárea de una mezcla química ABOTEC que nos sumista los siguientes valores en nutrientes.

Tabla 6. Nutrientes aportados por ABOTEC

N	P	K	NPK	CaO	MgO	S	Zn	B	CU	Fe	MEN
60	16	92	168	-	16	8	0,40	0,40	-	-	25

Fuente: el autor

Ilustración 21 y 22. Seguimiento de abonamiento



Fuente: el autor

7.3. Aplicación insecticida

Luego de evidenciarse un ataque en el 25% del área de cultivo por *Spodoptera Frugiperda* fue requerido realizar la aplicación de un insecticida.

Ilustración 23. Evidencia presencia de *Spodoptera Frugiperda*



Fuente: el autor

Tabla 7. Dosificación Insecticida

Producto	Dosis
ALYSTIN	150 CC/HECTAREA
PEGAL	0,2 /HECTAREA

Fuente: el autor

7.4. Liberación de control biológico

Como método de control para barrenadores, se realiza un tratamiento biológico con liberaciones de *cotesia flavipes* sp con una frecuencia de cada 15 días desde la semana 6 posterior a siembra, con una dosificación de 50 copos.

Ilustración 24. Liberación de *cotesia flavipes* sp



Fuente: el autor

7.5. Análisis Fitosanitario

7.5.1. Reconocimiento de las afectaciones

Se recorre el cultivo y se observan alteraciones en las plantas las cuales requieren ser diagnosticadas, por tal motivo se procede a tomar muestras realizando un corte del material vegetal afectado e introduciendolo en bolsas plasticas resellables previamente identificada con la lozalizacion del cultivo.

Las muestras tomadas anteriormente fueron llevadas al laboratorio de fitopatología de la Universidad de Los Llanos para su respectivo análisis.

Ilustración 25. Evidencias de afectaciones en cultivo de Sorgo



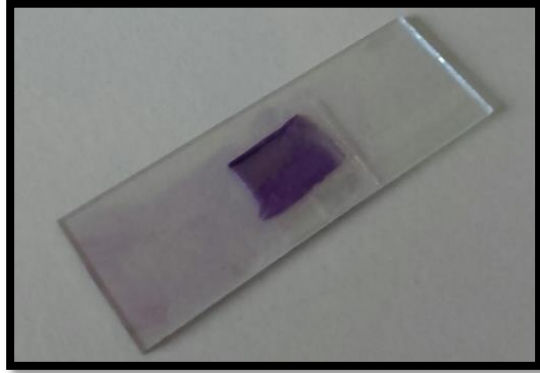
Fuente: el autor

7.5.2. Análisis De Laboratorio

La evaluación de las muestras se realizó por medio de improntas directas en el material vegetal de la siguiente manera:

- a) Se agregó una pequeña gota de azul de metileno en la placa esparciéndolo suavemente.
- b) Utilizando una cinta pegante delgada se presiona el material vegetal afectado teniendo contacto por el lado del pegante.
- c) Se pega la cinta sobre la placa con azul de metileno.
- d) Se observa en el microscopio.

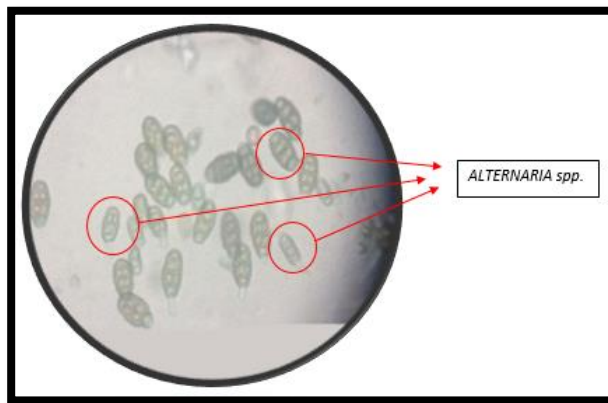
Ilustracion 26. Montaje de las improntas



Fuente: el autor

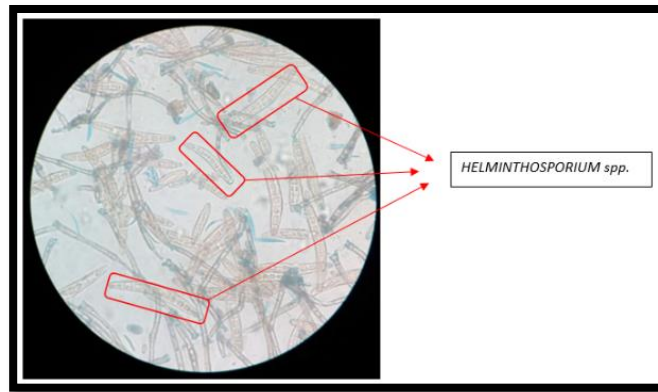
7.5.3. Resultados

Ilustracion 27 . Cuerpos fructiferos de *Alternaria sp.*



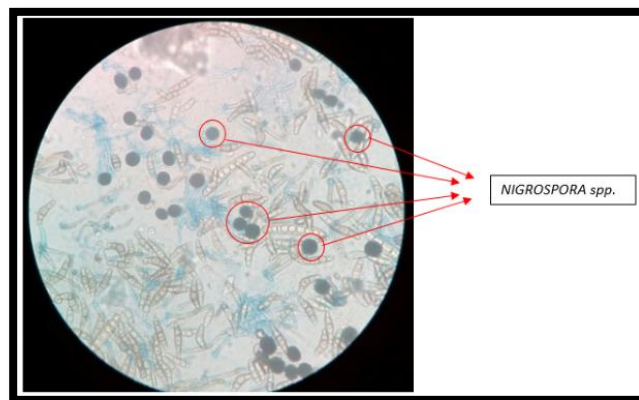
Fuente: el autor

Ilustracion 28. Cuerpos fructiferos de *Helminthosporium spp.*



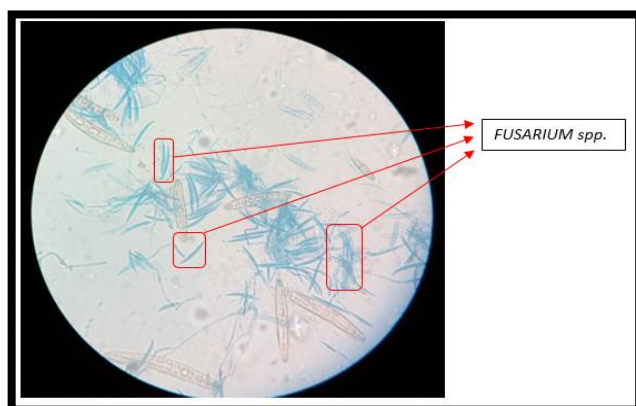
Fuente: el autor

Ilustracion 29. Cuerpos fructiferos de *Nigrospora spp.*



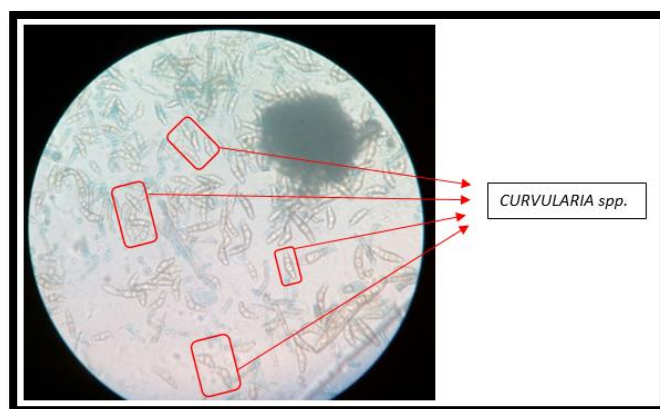
Fuente: el autor

Ilustracion 30. Cuerpos fructiferos de *Fusarium spp.*



Fuente: el autor

Ilustracion 31. Cuerpos fructiferos de *Curvularia spp.*



Fuente: el autor

7.5.4. Diagnostico

Los hongos observados en las placas tomadas de las improntas nos dejan evidenciar la presencia de un complejo de hongos Saprofitos, característicos de su aparición luego de la afectación que se obtuvo en el cultivo producto de la quemazón posterior a la labor de abonamiento.

8. RESULTADOS Y DISCUSIONES

8.1. DESARROLLO FENOLOGICO

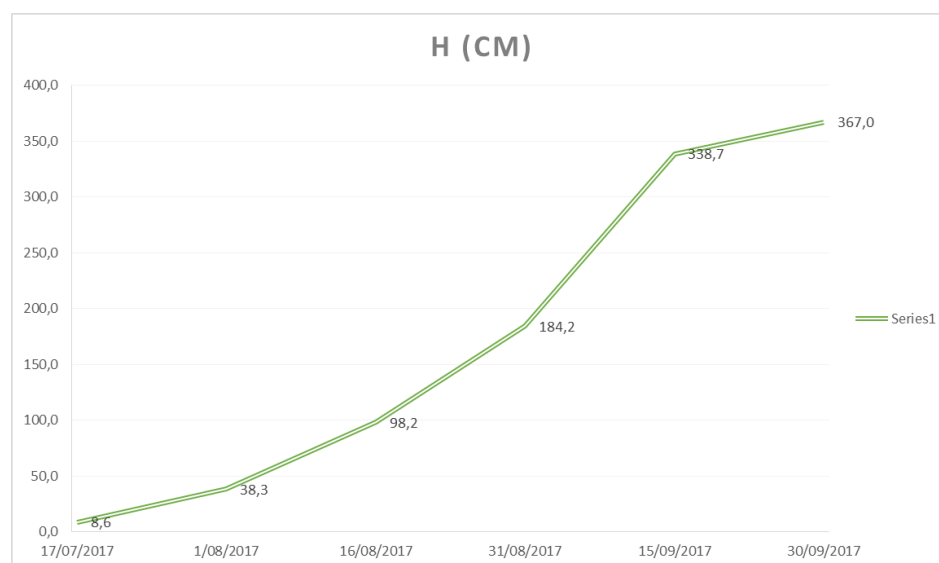
8.1.1. N5D61 PALO ALTO

Tabla 8. Seguimiento variedad N5D61

<i>Días de Siembra</i>	Fecha De Evaluación	H (cm)	N° hojas
19	17/07/2017	8,6	6
34	1/08/2017	38,3	8
49	16/08/2017	98,2	10,0
64	31/08/2017	184,2	12
79	15/09/2017	338,7	14
94	30/09/2017	367,0	14

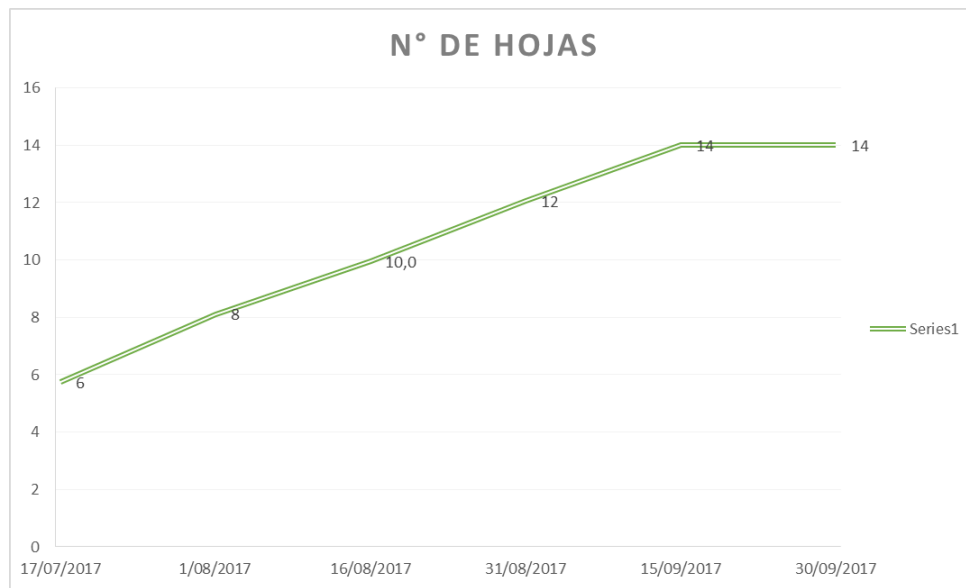
Fuente: el autor

Ilustración 32. Seguimiento altura h (cm) variedad N5D61



Fuente: el autor

Ilustración 33. Seguimiento N° de hojas variedad N5D61



Fuente: el autor

Ilustración 34. Variedad N5D61



Fuente: el autor

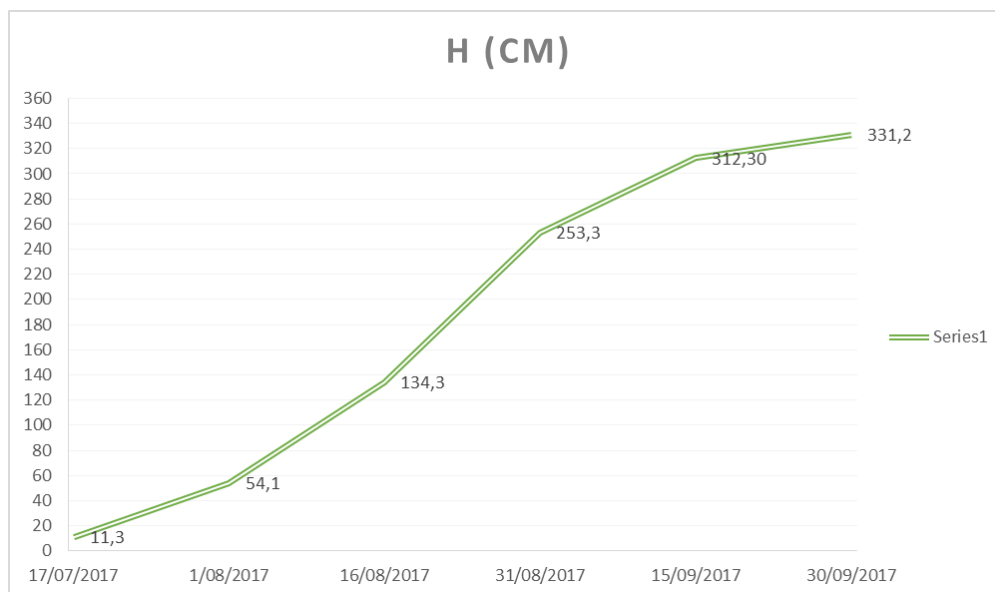
8.1.2. N5k53 PALO ALTO

Tabla 9. Seguimiento variedad N5K53

<i>Días de Siembra</i>	Fecha De Evaluación	H (cm)	N° hojas
19	17/07/2017	11,3	6
34	1/08/2017	54,1	8
49	16/08/2017	134,3	10
64	31/08/2017	253,3	12
79	15/09/2017	312,30	14
94	30/09/2017	331,2	14

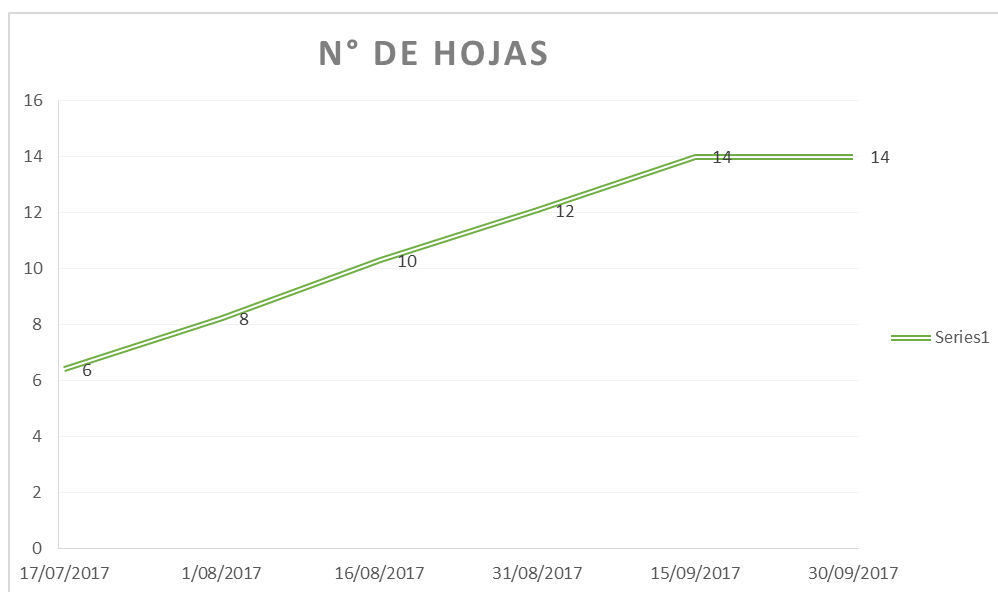
Fuente: el autor

Ilustración 35. Seguimiento altura h (cm) variedad N5K53



Fuente: el autor

Ilustración 36. Seguimiento N° de hojas variedad N5K53



Fuente: el autor

Ilustración 37. Variedad N5K53



Fuente: el autor

8.1.3. N43A1001 MALIBU

Tabla 10. Seguimiento variedad N43A1001

<i>Días de Siembra</i>	Fecha De Evaluación	H (cm)	N° hojas
19	17/07/2017	12,3	7
34	1/08/2017	49,3	8
49	16/08/2017	139,4	12
64	31/08/2017	233,3	13
79	15/09/2017	297,5	13
94	30/09/2017	314,7	13

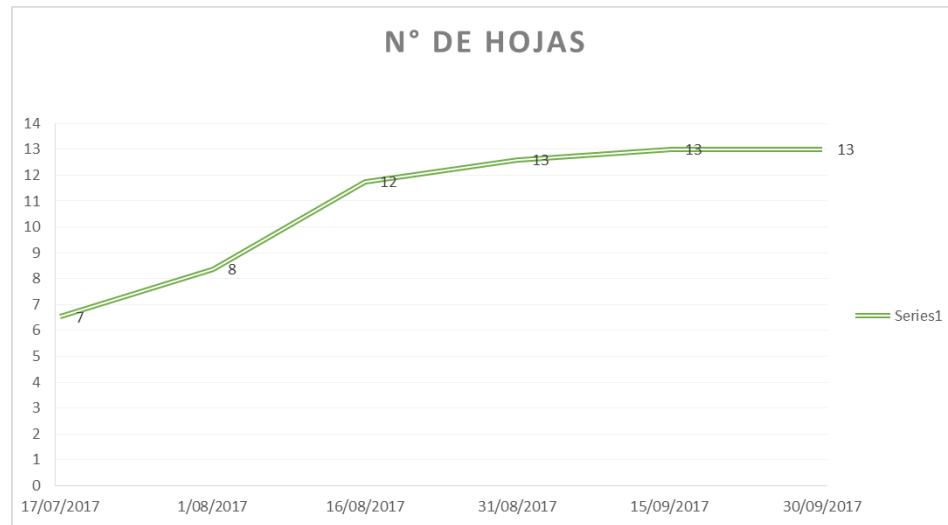
Fuente: el autor

Ilustración 38. Seguimiento altura h (cm) variedad N43A1001



Fuente: el autor

Ilustración 39. Seguimiento N° de hojas variedad N43A1001



Fuente: el autor

Ilustración 40. Variedad N43A1001



Fuente: el autor

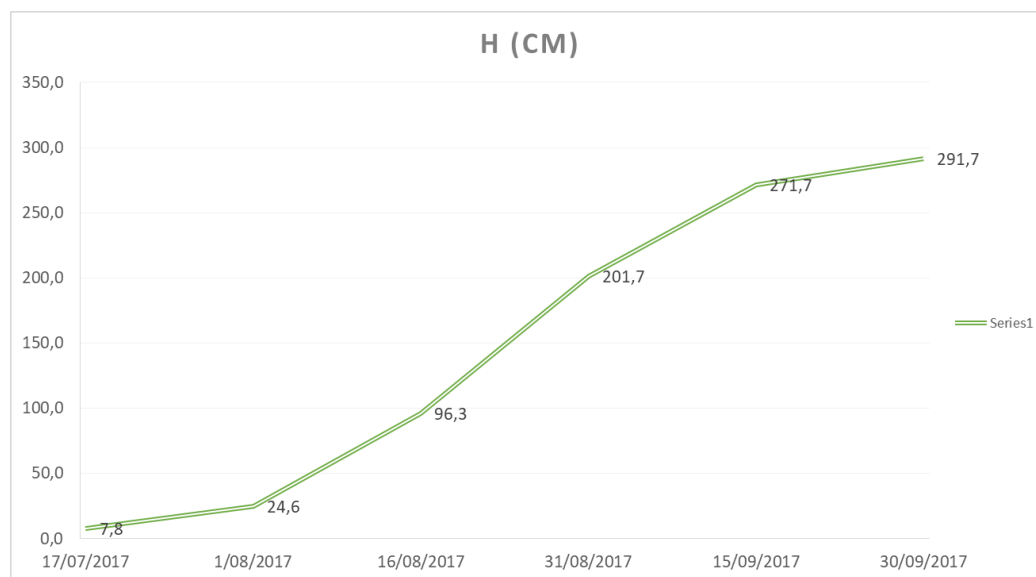
8.1.4. N32F2026 MALIBU

Tabla 11. Seguimiento variedad N32F2026

<i>Días de Siembra</i>	Fecha De Evaluación	H (cm)	N° hojas
19	17/07/2017	7,8	5
34	1/08/2017	24,6	8
49	16/08/2017	96,3	11
64	31/08/2017	201,7	13
79	15/09/2017	271,7	13
94	30/09/2017	291,7	13

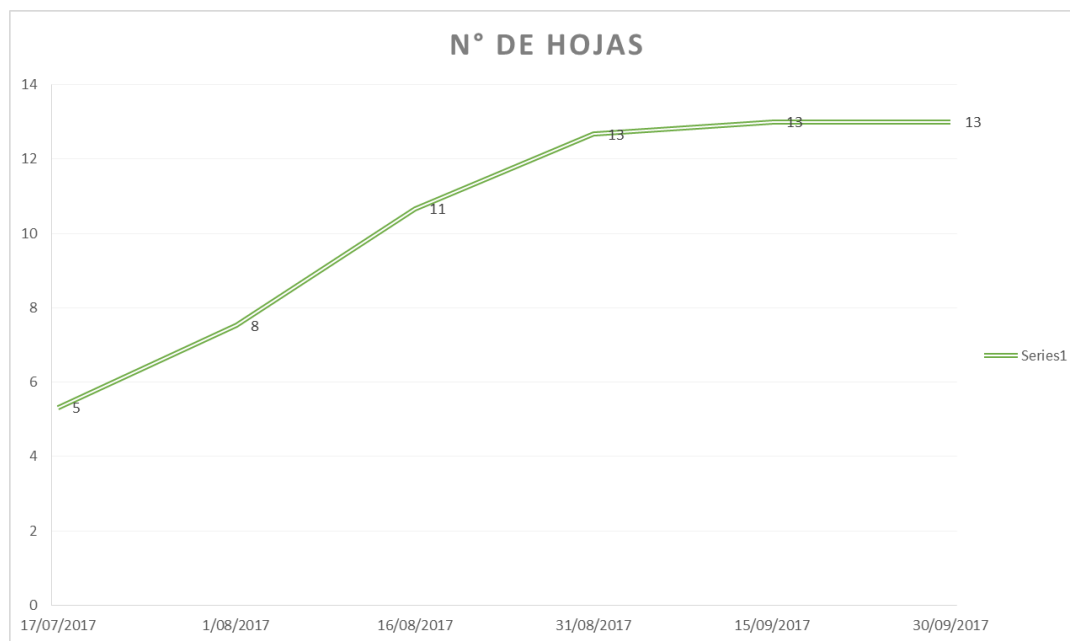
Fuente: el autor

Ilustración 41. Seguimiento altura h (cm) variedad N32F2026



Fuente: el autor

Ilustración 42. Seguimiento N° de hojas variedad N32F2026



Fuente: el autor

Ilustración 43. Variedad N32F2026



Fuente: el autor

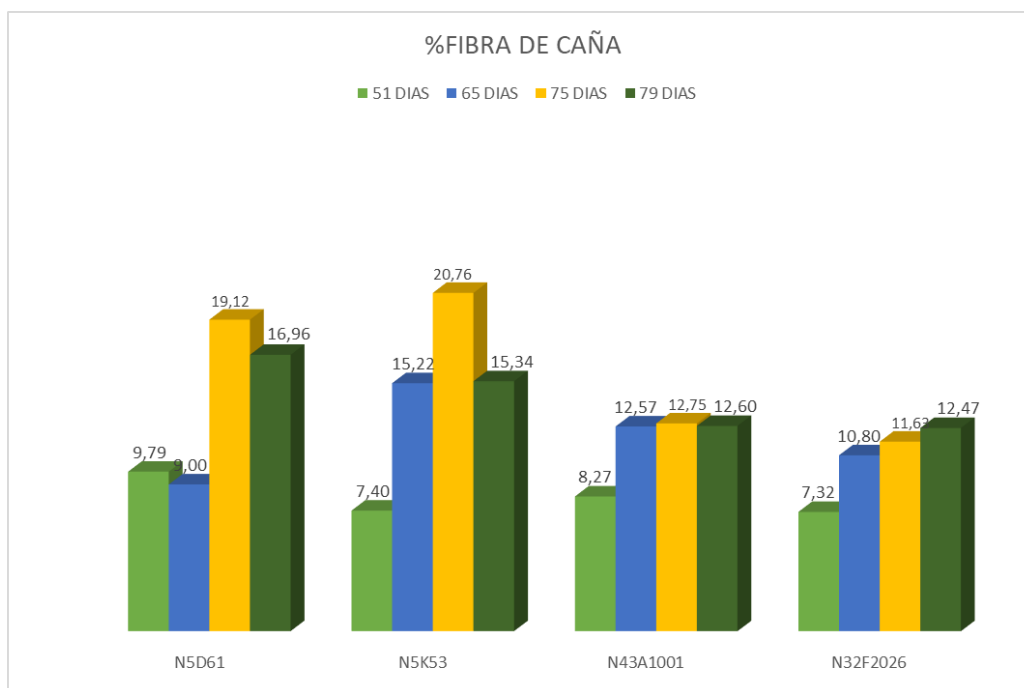
8.2. Seguimiento producción de Etanol y Fibra

Tabla. Resultados laboratorio de calidad de caña (90 días de cultivo)

Hibrido	%ATR jugo extraído (m/m)	Pol	Sacarosa Jugo extraído	Brix de jugo extraído	%AR	% Fibra caña	%Humedad caña
N5D61	4,78	14,99	3,79	8,01	1,09	21,66	76,05
N5K53	5,64	18,26	4,58	9,53	1,10	23,47	72,69
N43A1001	8,72	28,38	7,10	10,64	1,26	14,44	77,26
N32F2026	10,06	33,34	8,30	11,81	1,32	13,66	77,37

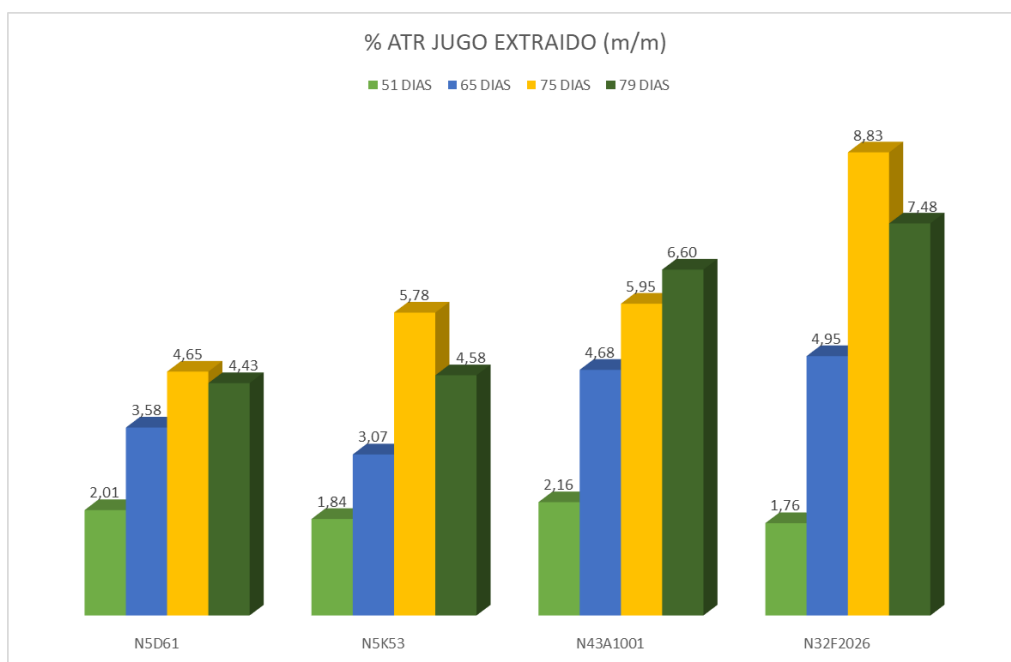
Fuente: el autor

Ilustración. Seguimiento % de fibra.



Fuente: el autor

Ilustración . Seguimiento % de ATR en jugo extraído (m/m)



Fuente: el autor

Ilustración 46. Material previo a entrar al laboratorio



Fuente: el autor

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. Desarrollo fenológico

Debido a que la distancia de las líneas de siembra fue de 40 cm, la población de plantas de sorgo en las 4 parcelas fue superior a 180.000 Plantas/Ha; esto generó que los tallos de algunos de los híbridos tuvieran el grosor y la altura menor a la que se esperaba.

9.2. Producción estimada

El valor de las toneladas de sorgo por hectárea se calculó en base al promedio del peso de los tallos en un muestreo aleatorio con diferentes puntos por material, teniendo en cuenta la población de plantas en cada parcela.

A pesar de que los 2 primeros materiales no son con fines de producción de etanol, se les realizó también el cálculo para estimar los litros de alcohol producido con el factor estequiométrico con el cual trabaja la planta Alcaraván, basado en el valor de ATR; dicho factor es 0,53211, bajo una densidad de etanol a 20°C de 0,7915 Kg/L. Los resultados fueron analizados por el Laboratorio de calidad de Caña del área de Control Industrial.

Tabla 13. Factor Estequiométrico

Factor Estequiométrico	
Peso molecular de Glucosa (C ₆ H ₁₂ O ₆)	180
Peso molecular de Etanol (C ₂ H ₅ OH)	92
Factor de Kg de Glucosa a Kg de Etanol	0,5111
Densidad del etanol a 20°C (Kg /Litro)	0,7915
Eficiencia de Transformación de la planta de Diseño	82,85%
Factor de Kg de Glucosa a Litros de Etanol	0,53499
Factor de Kg de ATR a Litros de Etanol	0,53211
NF asumidos	1%
Eficiencia asumida	82,85%

Fuente: Laboratorio de calidad de caña Bioenergy S.A.

Tabla 14. Análisis producción de Etanol

Híbrido	Ton/Ha	OH KG/TON	OH LT/TON	OH LT/HA
N5D61	64,7	25,43	32,14	2079,13
N5K53	82,9	30,01	37,92	3143,29
N43A1001	65,6	46,40	58,62	3845,66
N32F2026	57,7	53,53	67,63	3902,33

Fuente: el autor

De acuerdo a los resultados obtenidos el material con mejor producción de biomasa fue el N5K53 con 82,9 Ton/Ha, mientras que para producción de etanol el material que mejor comportamiento tuvo fue el N32F2026 con 3902 litros de alcohol por hectárea. Estos resultados fueron tomados a los 86 días de siembra con una humedad de la biomasa promedio de 75%; resaltando que la humedad ideal para cosechar debe ser alrededor de 60-65%.

Los resultados de la biomasa producida en el peor de los casos, que fue el presentado con el híbrido Malibu N32F2026, es un valor interesante, pues fue producido en 3 meses, si se alcanza a realizar 3 ciclos de sorgo al año, se lograría producir más biomasa que la producida con variedades de caña en la altillanura, pues el valor de esta última en el mejor escenario llega a 100 Ton/ha en un periodo de 1 año.

10. BIBLIOGRAFIA

- Acevedo Robinse, 2015. Evaluación de los impactos que tiene la aplicación del biofertilizante líquido VINAZA en los suelos oxisoles de influencia del proyecto de producción de alcohol carburante EL ALCARAVAN, Municipio de Puerto López, Departamento del Meta.
- Almodares, A. y Hadi, M.R., 2009. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *African Journal of Agricultural Research* 4, 772–780. En línea:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=6610076&pid=S1665-2738201100030001800002&lng=es
- BIOENERGY. 2015. Responsabilidad Empresarial. Colombia, en línea: www.bioenergy.com.co
- CENICAÑA. 2012. Estandarización de los temas de medición en los ingenios azucareros en Colombia. Manual de cálculos y datos básicos, control de fábrica de azúcar, planta de etanol y fabrica dual (azúcar-etanol). Cali, Colombia.
- Cobos Y.; Ortiz H. 2007. Evaluación del impacto ambiental producido por el tratamiento anaeróbico de la vinaza. Bucaramanga, Colombia.
- Confederación Empresarial del Campo de Colombia. Comfecampo. 2008. Alcohol carburante: Situación actual y perspectivas. Departamento Técnico. Bogotá, Colombia.
- Chuck Hernandez C. ,Perez Carrillo E., Heredia Olea E. y Serna Saldivar S.; Sorgo como cultivo multifacético para la producción de bioetanol en México: Tecnologías, avances y áreas de oportunidades, 2011; Monterrey, México.
- Energías Renovables, Tipos de Biocombustibles, en línea: <http://www.energiasrenovablesinfo.com/biomasa/tipos-biocombustibles/>

- FAO, Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación;1997. La economía del Sorgo y del Mijo en el mundo: Hechos, Tendencias y Perspectivas; Roma, Italia.
- Gnansounou, E., Dauriat, A. y Wyman, C. E.,2005. Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade-offs in the context of North China. *Bioresource Technology* 96, 985–1002, en línea: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=6610100&pid=S1665-2738201100030001800014&lng=es
- Infoagro, el cultivo del sorgo, en línea: <http://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/sorgo.htm>
- Kim, M. y Day, D.,2010. Composition of sugar cane, energy cane, and sweet sorghum suitable for ethanol production at Louisiana sugar mills. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*. Volumen no disponible, 1–5. En línea: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=6610110&pid=S1665-2738201100030001800019&lng=es
- Manuelita. 2014. Manuelita azúcar y energía. Colombia. www.manuelita.co
- Molina D.; Amézquita E.; Hoyos P. CIAT, 2004. Manejo y uso de los suelos de la Altillanura colombiana, Analisis económico de una estrategia para su conservación y mejoramiento: Construcción de una capa arable. Cali, Colombia.
- Noticias de la Ciencia y la Tecnología, Bioetanol, el sorgo como alternativa en la producción de biocombustible, 31 de agosto 2018, en línea: <http://noticiasdelaciencia.com/not/15807/bioetanol-el-sorgo-como-alternativa-en-la-produccion-de-biocombustible/>
- Nuanpeng, S., Laopaiboon, L., Srinophakun, P., Klanrit, P., Jaisil, P. y Laopaiboon, P. (2011). Ethanol production from sweet sorghum juice under very high gravity conditions: batch, repeated-batch and scale up fermentation. *Electronic Journal of Biotechnology* 14, 112. En línea: <http://dx.doi.org/10.2225/vol14-issue1-fulltext-2>

- [Ramirez O., Cuadra J., Evaluación de veinticuatro líneas de sorgo \(Sorghum bicolor L. Moench\) por su reacción a plagas y enfermedades, en dos localidades CNIA-INTA, Managua y Guanacastillo, Masaya, Postrera, 2004.](#)
- Parra Pablo Emilio, 1990. El cultivo del sorgo, Cúcuta, en línea: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/4097/1/el_cultivo_sorgo.PDF
- Perez Aristides, 2010. Characterization and potencial of sorghum (sorghum bicolor L. Moench) grain, Matanzas. En línea: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942010000100001
- Praj. Sweet sorghum to ethanol. Technology, plant & machinery. En línea: <http://www.praj.net/media/sweetsorghum.pdf>
- Revista Contexto ganadero, 21 de Octubre de 2017, en línea: <http://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/sorgo-y-maiz-importantes-alternativas-para-alimentar-el-ganado>
- [Revista Electroindustria, Biocombustibles de Primera generación, 1 de septiembre de 2018, en línea:](#) <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=959>
- Ruíz J, Cruz J, 2005. Selección de cultivares forrajeros de sorgo (sorghum bicolor) y mijo (pennisetum americanum) por índices de eficiencia y calidad, Alajuela, Costa Rica.
- Vitónica, 2011. El sorgo un cereal al servicio de nuestra salud. En línea: <https://www.vitonica.com/alimentos-funcionales/el-sorgo-un-cereal-al-servicio-de-nuestra-salud>
- Wu, X., Staggenborg, S., Propheter, J.L., Rooney, W.L., Yu, J. y Wang, D., 2010. Features of sweet sorghum juice and their performance in ethanol fermentation. *Industrial Crops and Products* 31, 164–170. En línea: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=6610188&pid=S1665-2738201100030001800058&lng=es
- Zucarmex. 2007. Proceso de producción del azúcar. México. <http://www.zucarmex.com/Proceso.htm>

11. ANEXOS

Ilustración. Equipo de trabajo Bioenergy - NexSteppe



Fuente: el autor